1967
Verlag Schnelle, Eberhard und Wolfgang Schnelle GmbH, Quickborn

Druck und Einband: Maurischat & Bevensee, Quickborn
Printed in Germany

GRUNDLAGENSTUDIEN

AUS

KYBERNETIK

UND GEISTESWISSENSCHAFT



BAND 8
HEFT 2

JUNI
1967

KURZTITEL
GrKG 8/2

INHALT

VERLAG SCHNELLE QUICKBORN

Neuerdings vollzieht sich eine immer stärker werdende Annäherung zwischen Natur- und Geisteswissenschaft als Auswirkung methodologischer Bestrebungen, für die sich das Wort Kybernetik eingebürgert hat. Die Einführung statistischer und speziell informationstheoretischer Begriffe in die Ästhetik, die invariantentheoretische Behandlung des Gestaltbegriffs und die Tendenzen, zwischen der Informationsverarbeitung in Maschine und Nervensystem Isomorphismen nachzuweisen, sind nur drei Symptome dafür.
Die Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft sollen der raschen Publikation neuer Resultate dienen, welche diese Entwicklung zu fördern geeignet sind. Veröffentlicht werden vor allem grundlegende Ergebnisse, sowohl mathematischer, psychologischer, physiologischer und in Einzelfällen physikalischer als auch philosophischer und geisteswissenschaftlicher Art. Nur in Ausnahmefällen werden dagegen Beiträge über komplexere Fragen der Nachrichtentechnik, über Schaltungen von sehr spezieller Bedeutung, über Kunst und literaturgeschichtliche Probleme etc. angenommen. In geringer Zahl werden Buchbesprechungen veröffentlicht.

Erscheinungsweise: Viermal im Jahr mit je 32 bis 48 Seiten.
Beiheft: Im Jahr erscheint für Abonnenten ein Beiheft.
Preis: DM 4,80 je Heft und Beiheft.
Im Abonnement Zustellung und Jahreseinbanddeckel kostenlos. Bezug durch Buchhandel oder Verlag.
Manuskriptsendungen: an Schriftleitung gemäß unserer Richtlinien auf der dritten Umschlagseite.

Schriftleitung

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
Berlin 46, Malteserstr. 74/100

Les sciences naturelles et les sciences humaines se rapprochent de plus en plus; ce rapprochement est une conséquence des tendances métodologiques appelées cybernetique. L'introduction en esthétique de termes statistiques et surtout de termes de la théorie de l'information, le fait de considérer mathématiquement la notion de Gestalt comme une invariante, et les tendances à chercher des isomorphismes entre la transformation de l'information par les machines et par le système nerveux sont seulement trois exemples du dit rapprochement.
Les «Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft» ont pour but de publier rapidement des résultats nouveaux capables de contribuer à ce dévéloppement. Surtout des résultats fondamentaux (soit de caractère mathématique, psychologique, physiologique et quelquefois physique — soit de caractère philosophique ou appartenant aux sciences humaines) sont publiés. Par contre des travaux concernant soit des questions assez complexes de la théorie de communication et télécommunication, soit des reseaux éléctriques ayant des buts trop spéciaux, soit des problèmes de l'histoire de l'art et de la litérature etc. ne sont acceptés qu'exceptionnellement aussi que les comptes rendus de nouveaux livres.

Il paraissent 4 numéros de 32 à 48 pages par an et un numéro spécial, pour les abonnés. Prix: DM 4.80 le numéro (et le numéro spezial) L'envoi et la couverture du tome complèt (à la fin de chaque année) est gratis pour les abonnés.
Les G KG sont vendus en librairie ou envoyés par les Editeurs Schnelle
Les manuscrits doivent être envoyés au rédacteur en chef. Quant à la forme voir les remarques à la page 3 de cette couverture.

Rédacteur en chef

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
Berlin 46, Malteserstr. 74/100

Natural and cultural sciences are in train to come together closer and closer as a consequence of methodologicatendencies called cybernetics. The introduction of terms of statistics and specially of information theory into the terminology of esthetics, the interpretation of 'Gestalten' as mathematical invariants, and the search for isomorphisms by comparing information handling in computers and the brain are only three symptoms of the process mentioned above.
The Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft would like to cultivate this tendencies by rapid publication of new results related to cybernetics, especially results of basic interest, no matter whether belonging to the field of mathematics, psychology, physiology and sometimes even of physics, or rather to the fields of philosophy and cultural sciences. But papers which concern complex technical problems of transmission and processing of information, or electrical networks with very limited purpose, or the history of art and literature, are accepted only exceptionally. There will also be few recensions of books.

G KG are published in 4 numbers each year, with 32–48 pages per number. A special number is edited each year for the subscribers.
Price: DM 4.80 per number (and spezical number) Mailing and cover of the volume (to be delivered together with the last number each year) is free for subscribers. The G KG may be received by booksellers or directly by the publisher.

Papers should be sent to the editors. For the form of manuscript see page 3 of this cover.

Editor

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
Berlin 46, Malteserstr. 74/100

EIN VERFAHREN ZUR AUTOMATISCHEN ERSTELLUNG VON ÜBERSETZERN FÜR PROGRAMMIERSPRACHEN

von Fridolin Hofmann, Erlangen

1. Einleitung

Ausgehend von einer strengen Definition der von Glennie (1960) eingeführten Syntaxmaschine, im weiteren kurz mit SYM bezeichnet, wird anhand eines ALGOL-Programms gezeigt, wie sich eine solche SYM an einer elektronischen Rechenanlage verwirklichen läßt. Es wird dann eine Notation zur Darstellung einer SYM dargelegt, aus der mit Hilfe eines speziellen Übersetzers ein Programm erzeugt wird, das eine Realisierung der beschriebenen SYM darstellt. Der wesentliche Punkt ist dabei, daß ein solcher Übersetzer mit äußerst geringem Aufwand erstellt werden kann.

Im zweiten Teil wird auf den Zusammenhang zwischen den SYM und kontextfreien Grammatiken eingegangen.

Abschließend folgt eine Zusammenstellung der bisherigen Anwendungen.

Die Untersuchung der SYM zielt auf die Gewinnung eines Verfahrens ab, das zur schnellen Erstellung von Übersetzern für Sprachen mit ALGOL-Charakter dient. In Betracht kommen auch Sprachen im Zusammenhang mit der Lehrprogrammierung (DIDOL, Frank, H., 1965).

2. Die Glennie´sche Syntaxmaschine (SYM)

2.1 Definition der SYM

Glennie (1960) beschreibt in seiner Arbeit einen von ihm als Syntaxmaschine bezeichneten Algorithmus zur Syntaxanalyse gewisser kontextfreier Grammatiken. Um genauere Aussagen darüber machen zu können, für welche kontextfreien Grammatiken dieser Algorithmus anwendbar ist, werde zunächst eine formale Definition der SYM gegeben.

Definition 2.1.1: (Kleene S. C.)

A sei eine endliche, nichtleere Menge. Dann bezeichne A^* die Menge $A^* = \bigcup_{n=0}^{\infty} A^n$. Mit anderen Worten, A^* besteht aus allen endlichen Worten von Zeichen aus A, einschließlich dem leeren Wort, das stets mit ε bezeichnet wird.

Definition 2.1.2: Eine Glennie´sche Syntaxmaschine ist ein 10-Tupel

SYM = (S, K, O, E, f, g, h, G, e, k), wobei gilt:

(a) $S = \{ s_1, s_2, \dots, s_{m_1} \}$ ist eine endliche, nichtleere Menge (von Eingabesymbolen).

(b) $K = \{k_1, k_2, \ldots, k_{m_2}\}$ ist eine endliche, nichtleere Menge (von Zuständen).

(c) $O = \{o_1, o_2, \ldots, o_{m_3}\}$ ist eine endliche, nichtleere Menge (von Ausgabesymbolen).

(d) $E = \{e_1, e_2, \ldots, e_{m_4}\}$ ist eine endliche, nichtleere Menge von (Entscheidungs-)Funktionen auf $S^* \times K$ mit Werten in $\{0, 1\} \times S^* \times K \times 0^*$ und es ist $E \cap S = \emptyset$.

(e) f ist eine Funktion auf $E \times K$ mit Werten in 0^*.

(f) g ist eine Funktion auf $E \times K \times K$ mit Werten in 0^*.

(g) h ist eine Funktion auf $E \times K \times K$ mit Werten in K.

(h) G ist ein Gleichungssystem, dessen Gleichungen die Formen

(i)	$x \equiv y$	mit $x \in E$, $y \in E \cup S$,	
(ii)	$x \equiv y\ z$	mit $x, y, z \in E$	oder
(iii)	$x \equiv y \mid z$	mit $x, y, z \in E$	haben können,

und das folgende Eigenschaften besitzt:

(1) Die Relation $r_0 \subset (E \cup S) \times (E \cup S)$ sei definiert durch:

$$\begin{aligned} r_0 = & \{ (x, y) : x \equiv y \in G \} \\ & \cup \{ (x, y) : \text{es existiert } z \text{ mit } x \equiv y\ z \in G \} \\ & \cup \{ (x, y) : \text{es existiert } z \text{ mit } x \equiv y \mid z \in G \text{ oder } x \equiv z \mid y \in G \}. \end{aligned}$$

Weiter sei r die transitive Hülle von r_0 und für alle $e_i \in E$ sei $a(e_i) = \{ e_j : e_j \in E \cup S \text{ und } (e_i, e_j) \in r \}$.

Unter Verwendung dieser Bezeichnungen wird gefordert, daß für alle $e_i \in E$ gilt: $e_i \notin a(e_i)$.

(2) Jedes $e_i \in E$ kommt in genau einer Gleichung von G links von $\equiv$ vor.

(i) e ist Element von E (e heißt Startfunktion).

(j) k ist Element von K.

(k) Die Gleichungen von G bringen folgende Eigenschaften der Funktionen aus E zum Ausdruck:

Falls $x \equiv y$ in G ist und $y \in S$, so besitzt x die Eigenschaft:

$$x(\varphi, k) = \begin{cases} (1, \varphi', h(x, k, k), f(x, k)\, g(x, k, k)) & \text{falls } \varphi = y\varphi' \\ (0, \varphi, \quad k \quad, \quad \varepsilon \quad) & \text{sonst}. \end{cases}$$

Falls $x \equiv y$ in G ist und $y \in E$, so besitzt x die Eigenschaft:

$$x(\varphi, k) = \begin{cases} (1, \varphi', h(x, k, k'), f(x, k)\, w'\, g(x, k, k')) \\ \qquad \text{falls } y(\varphi, k) = (1, \varphi', k', w') \text{ ist,} \\ (0, \varphi, \quad k \quad , \quad \varepsilon \quad) \\ \qquad \text{sonst.} \end{cases}$$

Falls $x \equiv y \quad z$ in G ist, so besitzt x die Eigenschaft:

$$x(\varphi, k) = \begin{cases} (1, \varphi'', h(x, k, k''), f(x, k)\, w' w''\, g(x, k, k'')) \\ \qquad \text{falls } y(\varphi, k) = (1, \varphi', k', w') & \text{und} \\ \qquad\qquad z(\varphi', k') = (1, \varphi'', k'', w'') & \text{ist,} \\ (0, \varphi, \quad k \quad , \quad \varepsilon \quad) \\ \qquad \text{sonst.} \end{cases}$$

Falls $x \equiv y \mid z$ in G ist, so besitzt x die Eigenschaft:

$$x(\varphi, k) = \begin{cases} (1, \varphi', h(x, k, k'), f(x, k)\, w'\, g(x, k, k')) \\ \qquad \text{falls } y(\varphi, k) = (1, \varphi', k', w') & \text{ist,} \\ (1, \varphi'', h(x, k, k''), f(x, k)\, w''\, g(x, k, k'')) \\ \qquad \text{falls } y(\varphi, k) = (0, \varphi, k, \varepsilon) & \text{und} \\ \qquad\qquad z(\varphi, k) = (1, \varphi'', k'', w'') & \text{ist,} \\ (0, \varphi, \quad k \quad , \quad \varepsilon \quad) \\ \qquad \text{sonst.} \end{cases}$$

Die von Glennie verwendeten Gleichungsschemata lassen sich auf die in der Definition der SYM verwendeten zurückführen, so daß es keine echte Einschränkung bedeutet, wenn man nur die obigen Gleichungsschemata zuläßt. Die Glennie´schen liefern zwar kürzere und meist übersichtlichere Gleichungssysteme, wovon in den Anwendungen Gebrauch gemacht werden wird, es erleichtert aber Beweisführungen, wenn man sich in der Definition auf möglichst einfache Formen beschränkt.

Man zeigt verhältnismäßig leicht, etwa durch vollständige Induktion über die Länge der Worte von S^*, daß die Funktionen von E durch f, g, h und G eindeutig definiert sind für alle Elemente von $S^* \times K$.

Aus der Definition der SYM folgert man leicht, daß für alle $e \in E$ das Bestehen der Gleichungen $e(\varphi, k_i) = (t', \varphi', k', w')$ und $e(\varphi, k_j) = (t'', \varphi'', k'', w'')$ die Gleichungen $t' = t''$ und $\varphi' = \varphi''$ nach sich zieht. Es ist daher folgende Definition möglich:

Definition 2.1.3: Es sei $e_i \in E$. Dann bezeichnet $R(e_i)$ die Menge $R(e_i) = \{\varphi : e_i(\varphi, k) = (1, \varepsilon, k', w')\}$.

Beispiel 2.1: Gegeben sei die Syntaxmaschine SYM = (S, K, O, E, f, g, h, G, e, k) mit:

(a) $S = \{a, b, c\}$
(b) $K = \{k\}$
(c) $O = \{a, b, c, \backslash_S, /_S, \backslash_A, /_A, \backslash_B, /_B\}$
(d) $E = \{e_1, e_2, \ldots, e_{15}\}$
(e) f sei gegeben durch die Wertetafel

e_i	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9	e_{10}	e_{11}	e_{12}	e_{13}	e_{14}	e_{15}
$f(e_i, k)$	$\backslash_S$	ε	ε	ε	ε	$\backslash_A$	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	$\backslash_B$

(f) g sei gegeben durch die Wertetafel

e_i	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9	e_{10}	e_{11}	e_{12}	e_{13}	e_{14}	e_{15}
$g(e_i, k)$	$/_S$	ε	ε	ε	ε	$/_A$	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	$/_B$

(g) Die Funktion h ist die konstante Funktion $h(x, y, z) = k$

(h) Das Gleichungssystem G besteht aus den Gleichungen:

$e_1 \equiv e_5 | e_{15}$
$e_2 \equiv a$
$e_3 \equiv b$
$e_4 \equiv c$
$e_5 \equiv e_6\, e_4$
$e_6 \equiv e_8 | e_9$
$e_7 \equiv e_{12} | e_{13}$
$e_8 \equiv e_2\, e_{10}$

$e_9 \equiv e_2\, e_{11}$
$e_{10} \equiv e_6\, e_{11}$
$e_{11} \equiv e_3\, e_3$
$e_{12} \equiv e_2\, e_{14}$
$e_{13} \equiv e_2\, e_3$
$e_{14} \equiv e_7\, e_3$
$e_{15} \equiv e_7$

(i) $e \equiv e_1$

Man überzeugt sich leicht, daß die an das Gleichungssystem G zu stellenden Forderungen erfüllt sind.

Für die so definierte Syntaxmaschine ist zum Beispiel:

$e(abba, k) = (1, ba, k, \backslash_S \backslash_B ab /_B /_S)$

$e(aabb, k) = (1, \varepsilon, k, \backslash_S \backslash_B a \backslash_B ab /_B b /_B /_S)$

$e(baba, k) = (0, baba, k, \varepsilon)$

$e(abbc, k) = (1, \varepsilon, k, \backslash_S \backslash_A abb/_A c/_S)$.

2.2 Realisierung einer gegebenen SYM

Die nachfolgende Darstellung einer SYM in Form einer ALGOL-Prozedur soll einerseits der Verdeutlichung der Definition dienen und andererseits eine Möglichkeit zur Realisierung einer SYM mit Hilfe einer Rechenanlage aufzeigen. Dabei wird ohne Beschränkung der Allgemeinheit angenommen, daß für die darzustellende SYM $e = e_1$ und $k = k_1$ ist.

```
procedure  SYM (IN, IC, ICEND, OUT, OC, T, STATE);
  integer  IC, ICEND, OC, T, STATE;
  integer  array IN, OUT;
  comment  Diese Prozedur setzt voraus, daß die i-te Komponente des ab 1 in-
           dizierten Feldes IN das i-te Eingabesymbol des Wortes φ enthält,
           für das e( φ , k)zu berechnen ist, wobei INP [ICEND] das letzte
           Symbol von φ enthält. Das ab 1 indizierte Feld OUT ist zur Auf-
           nahme der Ausgabesymbole bestimmt. Ist e( φ , k) = (t, φ', k_i,
           w), so enthält nach Beendigung der Prozedur das Feld IN von IC bis
           ICEND das Wort φ', das Feld OUT von 1 bis OC das Wort w, STATE
           den Wert i und T den Wert t;

begin
  procedure F (I, KA);
    integer I, KA;
    begin comment  Hier ist ein Programmstück einzufügen, das f(e_I, KA) be-
                   rechnet und in das Feld OUT, beginnend bei  OUT [OC],
                   einträgt und OC um die Anzahl der ausgegebenen Symbo-
                   le erhöht;
    end;

procedure G (I, KA, KE);
  integer I, KA, KE;
  begin comment    Hier ist ein Programmstück zur Berechnung von g(e_I, KA,
                   KE) einzufügen, wobei die zu beachtenden Konventionen
                   denen der vorigen Prozedur entsprechen;
  end;

integer procedure H (I, KA, KE);
  integer I, KA, KE;
  begin comment    Hier ist ein Programmstück zur Berechnung von h(e_I, KA,
                   KE) einzusetzen;
  end;
comment  Hier sind die dem Gleichungssystem G entsprechenden Prozedurver-
         einbarungen einzusetzen, deren Beschreibung weiter unten folgt;
integer K;
```

```
boolean B;
comment Hier beginnt der eigentliche Anweisungsteil der Prozedur SYM;
IC := OC := K := 1;
E1;
OC := OC - 1;
if B then begin T := 1; STATE := K end
    else T := 0
end;
```

Nun ist noch für die einzelnen Gleichungstypen von G zu beschreiben, wie die zugehörigen Prozedurvereinbarungen aussehen. Kleine Buchstaben in oder als Variablennamen sind im konkreten Fall durch die entsprechende Zahl zu ersetzen.

Fall 1: $e_i \equiv s_j$

```
procedure Ei;
  begin if IC equal ICEND or INP IC+1 notequal Sj
           then B := false
           else begin B := true; IC := IC + 1;
                      F(i, K); G(i, K, K);
                      K := H(i, K, K)
                end
  end;
```

Fall 2: $e_i \equiv e_j$

```
procedure Ei;
  begin integer OCA, KA;
     KA := K; OCA := OC;
     F( i, K);
     Ej;
     if B then begin G( i, KA, K); K := H(i, KA, K) end
          else begin OC := OCA; K := KA end
  end;
```

Fall 3: $e_i \equiv e_j e_k$

```
procedure Ei;
  begin integer OCA, ICA, KA;
     OCA := OC; ICA := IC; KA := K;
     F(i, K);
     Ej;
     if not B then goto NEIN;
     Ek;
     if B then begin G (i, KA, K); K := H (i, KA, K) end
          else NEIN:
                begin OC := OCA; IC := ICA; K := KA end
  end;
```

Fall 4: $e_i \equiv e_j | e_k$

```
procedure Ei;
  begin integer OCA, ICA, KA;
    OCA := OC; ICA := IC; KA := K;
    F(i, K);
    Ej;
    if B then goto JA;
    Ek;
    if B then JA:
            begin G(i, KA, K); K := H(i, KA, K) end
        else begin OC := OCA; K := KA end
  end;
```

2.3 Notation zur Beschreibung einer SYM

Die vorangehenden Überlegungen legen die Vermutung nahe, daß es bei einer geeigneten Notation leicht sein sollte, einen Übersetzer zu schreiben, der die Syntaxmaschine aus ihrer Beschreibung automatisch erstellt.

Aus den bisherigen praktischen Versuchen entstand eine Notation, deren Struktur sich mit Hilfe einer kontextfreien Grammatik beschreiben läßt. Leider können hier nur die wesentlichsten Bestandteile dieser Grammatik dargestellt und erläutert werden. Für eine vollständige Darstellung sei verwiesen auf die ´Beschreibung des Programms MECO zur Erzeugung einer Glennieschen Syntaxmaschine´ (Hofmann, 1966).

```
<SYM>            ::= <SYM-Anfang> END
<SYM-Anfang>     ::=  BEGIN :<Funktionsname>; <Entscheidungsfunktion>|
                     <SYM-Anfang> <Entscheidungsfunktion>
```

Erläuterung: Die Darstellung einer SYM wird eingefaßt durch die Worte BEGIN und END. Der nach dem BEGIN folgende Funktionsname ist der Name der Startfunktion. Namen bestehen jeweils aus einem Buchstaben gefolgt von weiteren Buchstaben oder Ziffern.

```
<Entscheidungsfunktion> ::= <Funktionsname> := <Lokal-Vereinbarung>
                            <Disjunktion>;
<Lokal-Vereinbarung>  ::=  LOCAL (<Namenliste>), | <leer>
<Namenliste>          ::= <Name>| <Namenliste> , <Name>
```

Erläuterung: Der Funktionsname ist der Name der in der darzustellenden Gleichung aus G links von ≡ steht, die Disjunktion entspricht der rechten Seite. Die in der Lokal-Vereinbarung aufgeführten Namen stellen im Gegensatz zu allen anderen Namen Größen dar, die lokal für diese Funktion sind in einem analogen Sinn, wie der Begriff der lokalen Größe, in den Prozedurvereinbarungen von ALGOL verwendet wird.

<Disjunktion> ::= <Konjunktion> | <Disjunktion> / <Konjunktion>
<Konjunktion> ::= <Aktion> , <Element> | <Element> | <Konjunktion>
<Element>

Erläuterung: Konjunktion und Disjunktion sind Verallgemeinerungen der Typen (ii) und (iii) von Definition 2.1.2.

<Element> ::= <einfaches Element> | <einfaches Element> , <Aktion> | <Element> , <Wiederholung>
<einfaches Element> ::= <Funktionsname> | <Eingabesymbol>
<Wiederholung> ::= {<Disjunktion>}
<Aktion> ::= <Aktionsanfang>]
<Aktionsanfang> ::= [<Aktionselement> | <Aktionsanfang> , <Aktionselement>

Erläuterung: Die Bedeutung der Wiederholung ergibt sich daraus, daß F := X,{Y}; gleichwertig ist mit den beiden Entscheidungsfunktionen F := X, Z/X; und Z := Y, Z/Y;. Hierbei ist Z von allen in den Entscheidungsfunktionen der darzustellenden Syntaxmaschine bereits vorkommenden Namen verschieden zu wählen. Die Bedeutung der übrigen Begriffe ersieht man unmittelbar aus den Beispielen.

Von den zur Zeit benutzten Aktionselementen seien hier lediglich die beiden erwähnt, die für nahezu alle Anwendungen nötig sind.

<Ausgabe-Element> ::= CODE (<fester Teil> , <variabler Teil>)
<Anweisungs-Element> ::= <Name> = <arithmetischer Ausdruck>
<Aktionselement> ::= <Ausgabe-Element> | <Anweisungs-Element>

Erläuterung: Unter arithmetischen Ausdrücken sind hier Ausdrücke zu verstehen, die in üblicher Weise aus den arithmetischen Operatoren, runden Klammern, Variablennamen, Funktionsaufrufen und Konstanten aufgebaut sind.

Der feste Teil des Ausgabe-Elements charakterisiert eine der Standardprozeduren, die Bestandteil des Übersetzers für diese Notation sind, der variable Teil enthält die Parameter für die ausgewählte Prozedur, die aufgrund dieser Parameter bestimmt, welche Ausgabesymbole abgegeben werden sollen.

Beispiel 2.3.1: Die Bedeutung der einzelnen Sprachelemente wird besonders deutlich, wenn man sich ansieht, wie sich die Gleichungstypen der Definition 2.1.2 in der eben eingeführten Notation darstellen. Der Einfachheit wegen sei hier vorausgesetzt, daß die Funktionen f, g, h dem Übersetzer bereits bekannt sind. Kleine Buchstaben sind dabei im konkreten Fall durch die entsprechenden Zahlen zu ersetzen.

Typ (i) $e_i \equiv s_j$ (für $e_i \equiv e_j$ ist lediglich S_j durch E_j zu ersetzen)

Ei := LOCAL(KA),

[CODE (F, i, K), KA = K],
Sj,
[CODE (G, i, KA, K), K = H (i, KA, K)] ;

Typ (ii) $\quad e_i \equiv e_j \; e_k$

Ei := LOCAL(KA),
[CODE (F, i, K), KA = K],
Ej,
Ek,
[CODE (G, i, KA, K), K = H(i, KA, K)] ;

Typ (iii) $\quad e_i \equiv e_j \mid e_k$

Ei := LOCAL(KA),
[CODE (F, i, K), KA = K],
Ej,
[CODE (G, i, KA, K), K = H (i, KA, K)] /
[K = KA, CODE (F, i, K)],
Ek,
[CODE (G, k, KA, K), K = H (k, KA, K)] ;

Beispiel 2.3.2: In diesem Beispiel wird eine Syntaxmaschine beschrieben, deren Entscheidungsfunktion E identisch ist mit der Entscheidungsfunktion e_1 von Beispiel 2.1.

Die Standardfunktion OUT gibt als Ausgabesymbole die im variablen Teil folgenden, durch Kommata getrennten Zeichen ab.

BEGIN : E;

E := [CODE(OUT, $\backslash_S$)], EB, [CODE(OUT, $/_S$)] /
[CODE(OUT, $\backslash_S$)], EA, C, [CODE(OUT, $/_S$)] ;
EA := [CODE(OUT, $\backslash_A$, A)], A, EA, B, B, [CODE(OUT, B, B, $/_A$)] /
[CODE(OUT, $\backslash_A$, A)], A, B, B, [CODE(OUT, B, B, $/_A$)] ;
EB := [CODE(OUT, $\backslash_B$, A)], A, EB, B, [CODE(OUT, B, $/_B$)] /
[CODE(OUT, $\backslash_B$, A)], A, B, [CODE(OUT, B, $/_B$)] ;

END

3. Syntaxmaschine und kontextfreie Grammatik

3.1 SYM und zugehörige Grammatik

Einem Gleichungssystem G einer SYM werde ein Produktionensystem G′ zugeordnet durch die Definition:

$$G' = \{e_i \to \psi \ : \ \psi \in (E \cup S)^* \text{ und } e_i \equiv \psi \in G\}$$
$$\cup \{e_i \to e_j : \text{es existiert } e_k \text{ mit } e_i \equiv e_j | e_k \in G \text{ oder } e_i \equiv e_k | e_j \in G\}.$$

Die hier und im weiteren verwendeten Bezeichnungen und Begriffe aus der Theorie der kontextfreien Grammatiken entsprechen denen von Knuth D. E. (1965).

Definition 3.1.1: Bei vorgegebener Syntaxmaschine bezeichne $D(e_i)$ die Menge $D(e_i) = \{\varphi : \varphi \in S^* \text{ und } e_i \underset{G'}{\Rightarrow} \varphi\}$

Zur Definition von Programmiersprachen haben sich die kontextfreien Grammatiken als gut brauchbar erwiesen. Da jedoch die kontextfreie Grammatik im Grunde nur angibt, wie man die Elemente von D(e) erzeugt, entsteht für die Entwicklung von Übersetzern die umgekehrte Aufgabe, nämlich ein Verfahren zu finden, das es gestattet, von einem vorgegebenen Wort aus S^* zu entscheiden, ob es zu D(e) gehört und wenn ja, wie es aufgrund der kontextfreien Grammatik abgeleitet werden kann.

Wie man aus Abschnitt 2 sofort entnimmt, handelt es sich bei der Syntaxmaschine um ein Mittel, das es gestattet, von einem Wort aus S^* zu entscheiden, ob es auch Element von R(e) ist. Da bei Schema (iii) in Definition 2.1.2 die Reihenfolge der Entscheidungsfunktionen auf der rechten Seite wichtig ist im Gegensatz zur Interpretation in der zugehörigen kontextfreien Grammatik, ist unmittelbar ersichtlich, daß zwar $R(e) \subseteq D(e)$ ist, aber nicht immer $R(e) = D(e)$. Von besonderem Interesse ist es daher, Kriterien dafür zu haben, wann $R(e) = D(e)$ ist.

Die Beschränkung der Gleichungsschemata und damit auch der überhaupt in Frage kommenden Produktionensysteme ist für die Anwendungen belanglos, da man nach Ginsburg (1965) zu jeder kontextfreien Grammatik in konstruktiver Weise eine Grammatik finden kann mit den Eigenschaften:

1. Die Produktionen haben nur die Formen $e_i \to e_j$ oder $e_i \to e_j\, e_k$ oder $e_i \to e_j \mid e_k$ oder $e_i \to s_j$.
2. Jedes Element von E kommt genau einmal auf der linken Seite vor.

Es steht somit lediglich die Bedingung $e_i \notin a(e_i)$ aus, deren Erfülltsein man mit dem von Kurki-Suonio (1966) beschriebenen Verfahren erreichen kann. Hierbei macht man in der Notation von 2.3 vorteilhaft von dem Wiederholungselement Gebrauch. Außerdem ist es bei dieser Transformation möglich, f, g und h so zu wählen, daß, falls $e(\varphi, k) = (1, \varepsilon, k', w)$ ist, w Darstellung eines Ableitungsbaumes von φ in polnischer Postfixform ist. Durch andere Wahl läßt es sich erreichen, daß w eine syntaktische Klammerung von φ darstellt, wie etwa in Beispiel 2.3.2, dessen ursprüngliche Grammatik dem Abschnitt V der Arbeit von Knuth (1965) entstammt. Ein Resultat in der gewünschten Richtung liefert der

Satz 3.1.1: Für $X \subseteq S^*$ bezeichne H(X) die Menge $H(X) = \{\varphi : \text{es existiert } \varphi' \text{ mit } \varphi\varphi' \in X\}$.

Besitzt G die Eigenschaften:

(1) Für alle $x \equiv y|z \in G$ ist $D(y) \cap H(D(Z)) = \emptyset$.

(2) Für alle $x \equiv y\,z \in G$ folgt aus $\varphi_1 \in D(y)$ und $\varphi_2\ \varphi_3 \in D(z)$ und $\varphi_1\ \varphi_2 \in D(y)$, daß $\varphi_3 \in D(z)$ ist.

(3) Für alle $x \equiv y\,z \in G$ folgt aus $\varphi_1 \in D(y)$ und $\varphi_2 \in D(z)$, daß $\varphi_1\ \varphi_2 \notin H(D(y))$ ist.

Da der Beweis keine prinzipiellen Schwierigkeiten enthält, sei er hier nicht wiedergegeben.

Ebenfalls interessant ist die Frage, für welche Sprachen es überhaupt eine Syntaxmaschine gibt mit R(e) = D(e). Abschnitt V in der Arbeit von Knuth (1965) legt die Vermutung nahe, daß es zumindest für alle deterministischen Sprachen eine solche Syntaxmaschine gibt. Der Beweis ist bis jetzt jedoch noch nicht in allen Einzelheiten ausgeführt. Daß es aber auch für nichtdeterministische Sprachen eine solche Syntaxmaschine geben kann, zeigt das Beispiel 2.3.2 für die in Abschnitt V der Arbeit von Knuth (1965) angegebene nichtdeterministische Sprache.

3.2 Anwendungen

Zunächst wurde ein Übersetzer geschaffen, der lediglich die den Schemata (i)-(iii) entsprechenden Darstellungen der Notation von 2.3 beherrschte. Von da aus war es möglich, im Bootstrapping-Verfahren einen Übersetzer zu erstellen, der die in 2.3 beschriebenen Mittel zur Darstellung einer Syntaxmaschine voll zuläßt. Damit ist es möglich, Syntaxmaschinen aus ihrer Beschreibung automatisch generieren zu lassen.

Eine weitere Anwendung ergab sich bei der Anfertigung eines Übersetzers, der aus einem in üblicher Schreibweise vorliegenden Differentialgleichungssystem mit Angabe der Anfangswerte ein Blockschaltbild für einen Analogrechner erstellt.

Bei Arbeiten an einem ALGOL-Übersetzer, der nur sehr wenig Platz im Arbeitsspeicher der Rechenanlage beanspruchen durfte, wurde ein Mehrpaß-Übersetzer konzipiert. Dabei zeigte es sich, daß der Umfang des 7. Passes wesentlich davon abhing, wie die vorangehenden Pässe das zu übersetzende ALGOL-Programm aufbereiten. Die Möglichkeit, Syntaxmaschinen aus ihrer Beschreibung, die sich eng an die der Sprache ALGOL zugrundeliegende Grammatik anlehnen kann, automatisch erstellen zu lassen, gestattete es, die Tätigkeit der vorangehenden Pässe in Form einer Syntaxmaschine zu formulieren. Dabei war es dann auch ohne Schwierigkeiten möglich, Form und Folge der Ausgabesymbole wiederholt zu ändern und so zuerst den kritischen siebten Paß zu erstellen.

Schließlich wurde die Syntaxmaschine noch herangezogen zur Erzeugung eines Syntaxcheckers für ALGOL.

Nach den bisherigen Erfahrungen läßt sich sagen, daß die Syntaxmaschine ein durchaus brauchbares Mittel zur automatischen Erstellung von Übersetzern für Programmiersprachen mit ALGOL-ähnlichem Charakter ist.

Schrifttumsverzeichnis

Carr III, J.W., Weiland, J. — A Nonrecursive Method of Syntax Specification. Comm. ACM, 9, S. 267-269, 1966

Ginsburg, S. — Theory of context free languages. Nato Summer School on Programming Languages. Pisa, 6. - 24. September 1965

Glennie, A.E. — On the syntax machine and the construction of a universal compiler. Computation Ctr., Carnegie Institute of Technology, Juli 1960

Griffiths, T.V., Petrick, S. — On the Relative Efficiencies of Context-Free Grammar Recognizers. Comm. ACM, 8, S. 289 - 300, 1965

Hofmann, F. — Beschreibung des Programms MECO zur Erzeugung einer Glennie'schen Syntaxmaschine. ZEF/RZ-Bericht Nr. 6609, Siemens-Schuckertwerke AG, 1966

Kanner, Kosinski and Robinson — The Structure of Yet Another ALGOL Compiler. Comm. ACM, 8, S. 427 - 438, 1965

Knuth, D.E. — On the Translation of Languages from Left to Right. Information and Control, 8, S. 607 - 639, 1965.

Kurki-Suonio, Reino — On Top-to-Bottom Recognition and Left Recursion. Comm. ACM, 9, S. 527 - 528, 1966

Metcalfe, H.H. — A parametrized compiler based on mechanical linguistics. Annual review in automatic programming (R. Goodman ed.), Pergamon Press, 4, 1964

Naur, P.et al. — Revised Report on the Algorithmic Language ALGOL 60. Comm. ACM, 6, S. 1 - 17, 1963

Eingegangen am 20. März 1967

Anschrift des Verfassers:
Dr. Fridolin Hofmann, Zentrale Entwicklung und Forschung/Rechenzentrum
Siemens-Schuckert-Werke, 852 Erlangen, Günther-Scharowsky-Straße

BEMERKUNGEN ZUR THEORIE BEWUSST WAHRNEHMENDER SYSTEME

von Jens Blauert, Aachen

Herrn Prof. Dr.-Ing. V. Aschoff zum 60. Geburtstag gewidmet

1. Was ist bewußte Wahrnehmung?

Wir Menschen wissen aus unmittelbarer eigener Erfahrung, daß wir bewußt wahrnehmen können. Ich nehme bewußt wahr, heißt: in meiner Welt ist etwas mir Bewußtes, etwas von mir bewußt Wahrgenommenes vorhanden. Das Wahrgenommene kann ein Gegenstand, es kann aber auch ungegenständlich, z.B. ein Gefühl oder ein Begriff sein.
Wir wollen uns bei der Verwendung des Wortes "Wahrnehmung" auf die Bedeutung "bewußte Wahrnehmung" beschränken. Tun wir dies, so können wir sagen, daß im Augenblick des Wahrnehmens, das heißt in dem Augenblick, da die Wahrnehmung stattfindet, ein wahrnehmendes Wesen einem Wahrgenommenen gegenübersteht; und zwar derart, daß das Wahrgenommene das Bewußte des Wahrnehmenden ist.

Für weiter unten folgende Überlegungen muß festgestellt werden, daß das Wahrgenommene zeitlich, räumlich und eigenschaftlich bestimmt ist.

Benutzt man für das Wahrnehmende die übliche Bezeichnung Subjekt, für das Wahrgenommene die Bezeichnung Objekt, so kommt man zu der Aussage, daß Wahrnehmung und Subjekt-Objekt-Beziehung Synonyme sind.

Max Bense (1961) spricht von der Wahrnehmung als "einer zweistelligen Seinsfunktion, die sich auf zwei Gegebenheiten beziehen muß, um abgesättigt zu sein, nämlich Subjekt und Objekt." Hans Lungwitz (1933) nennt die Wahrnehmung "polar" und spricht von gegensätzlicher Zugleichheit von Subjekt und Objekt als von den Polen der Wahrnehmung.

Durch Introspektion weiß der Mensch, daß er selber wahrnimmt. Im Analogieschluß erkennt er auch anderen Wesen die Fähigkeit zur Wahrnehmung zu, nämlich dann, wenn diese anderen Wesen ihm ähnlich aufgebaut sind und ihm ähnlich reagieren. Dieser Analogieschluß ist zwar eine Hypothese, die niemals derart beweisbar ist, daß das Wahrgenommene eines anderen Menschen auch mein Wahrgenommenes sein könnte. Wir können niemals das Bewußte eines anderen haben, sondern nur durch dessen Ausdrucksaktionen wie z.B. dessen sprachliche Beschreibung davon erfahren. Die Hypothese, daß andere überhaupt Wahrgenommenes haben, ist jedoch solange zumindestens nicht widerlegbar, wie wir keine Tatsachen erleben, die ihr widersprechen.

Die oben gemachten Aussagen über die Wahrnehmung waren erkenntnistheoretischer Art. Naturwissenschaft und Technik interessieren sich jedoch neben der Frage, was Wahrnehmung dem Wesen nach sei, vor allem auch dafür, wann, wo und wie welche Wahrnehmungen zustandekommen.

Die Fähigkeit, wahrnehmen zu können, wird im allgemeinen höherorganisierten Lebewesen zuerkannt, wobei sich die Hirnrinde als Organ des Bewußtseins erwiesen hat. K. Steinbuch (1961; 1962) gibt dazu einen allerdings schon früher bekannten Zusammenhang (z. B. Lungwitz, 1923) mit folgenden Worten an: "Jede Bewußtseinssituation entspricht einer physikalisch beschreibbaren Situation des Organismus."

Unter Benutzung dieser Aussage kann eine naturwissenschaftliche Antwort auf die Frage nach den Umständen der Wahrnehmung in folgender Weise gegeben werden: Ein räumlich, zeitlich und eigenschaftlich bestimmter physiologischer Zustand eines zur Wahrnehmung fähigen Wesens koinzidiert mit dem Auftreten eines räumlich, zeitlich und eigenschaftlich ebenfalls spezifischen Wahrgenommenen in dessen Welt.

2. Das bewußt wahrnehmende System

Als wichtigstes Beispiel für ein bewußt wahrnehmendes System gilt der Organismus Mensch. Das Auftreten von bewußter Wahrnehmung hat sich als gebunden an physiologische Prozesse herausgestellt, die in der Hirnrinde stattfinden.

Eine Vielzahl von Funktionsschemata für den Ablauf der mit der Wahrnehmung verknüpften physiologischen Prozesse sind aus der Literatur bekannt. Sie lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

Die erste Gruppe, die im wesentlichen von der Kybernetik geliefert wird, ist dadurch gekennzeichnet, daß für die einzelnen Elemente des wahrnehmenden Systems Funktionssymbole angegeben werden. Diese Symbole geben die Funktion eines oder mehrerer Elemente des Systems an (z. B. die eines Verknüpfers oder eines Speichers), ohne daß dazugesagt wird, mit welchen Mitteln dieses Element in praxi realisiert ist, also ob es sich z. B. um ein Neuron oder um einen Transistor handelt. Als Beispiel für diese Art von Funktionsschemata können die von K. Steinbuch (1961) und H. Frank (1961) angegebenen Modelle zur Informationsverarbeitung durch den Menschen angeführt werden.

Die zweite Gruppe von Funktionsschemata ist aus der Physiologie her bekannt.

Es wird weniger der Fluß der Information in Begriffen der Informationstheorie beschrieben, sondern es werden Signalverläufe (resp. Reizverläufe) zwischen biologischen Organteilen schematisch aufgezeigt. Ein Beispiel eines solchen Schemas zeigt Bild 1. Eine Stimmgabel versetzt die sie umgebende Luft in Schwingungen. Die Schwingungen breiten sich als Schallwellen aus und führen zu einer Erregung des Ohres. Vom Ohr gelangen Signale in den Hörbezirk der Hirnrinde. In dem Moment nun, da die Erregung eines bestimmten Elementes der Großhirnrinde ihren Höhepunkt erreicht, taucht ein spezielles Wahrgenommenes aus dem möglichen Wahrnehmungsvorrat des Großhirns auf, d.h. zum Beispiel: der Mensch hört einen Ton.

Den Umständen innerhalb und außerhalb des Organismus entsprechend kann die Erregung im Anschluß an die Wahrnehmung einen unterschiedlichen Verlauf nehmen. Denkbar sind beispielsweise folgende Fälle:

1. Der Mensch erschrickt und wird schreckensbleich. Die Erregung hat sich in einer Angstverkrampfung seiner Blutgefäße ausgedrückt.
2. Der Mensch bewegt sich auf die Schallquelle zu, z.B. um die Stimmgabel genauer betrachten zu können. Die Erregung hat sich also über seine Bewegungsmuskulatur ausgedrückt.
3. Der Mensch beschreibt in Worten, daß er einen Ton hört. Die Erregung ist über den Sprechbezirk der Hirnrinde verlaufen und hat sich über das Sprechorgan ausgedrückt.

In dem Bild ist außerdem angedeutet, daß das Großhirn in jedem Moment Signale erhält, die es über den augenblicklichen koordinativen Zustand des gesamten Organismus informieren.

Ein Versuchsleiter, der sich für das Wahrgenommene einer Versuchsperson interessiert, wird in den meisten Fällen die Versuchsperson bitten, das Wahrgenommene mit Worten zu beschreiben. Wir wollen diesen Fall deshalb als Beispiel für unsere weiteren Überlegungen zugrundelegen. Bild 2 ist ein vereinfachter Auszug aus Bild 1. Der Reiz trifft ein Aufnahmeorgan, die Erregung verläuft über das bewußt wahrnehmende Organ an das Ausdrucksorgan. In dem Moment, da das wahrnehmende Organ sich in einem spezifischen Erregungszustand befindet, ist in der Welt dieses Organs ein spezifisches Wahrgenommenes vorhanden.

Bild 3 überträgt Bild 2 in die Darstellungsweise des Nachrichtentechnikers, in der das wahrzunehmende System als schwarzer Kasten mit Eingangs- und Ausgangsklemmen im Sinne der Systemtheorie erscheint. Unter bestimmten Voraussetzungen kann man zunächst annehmen, daß an den rechten Ausgangsklemmen des Kastens eine Ausgangsgröße (nämlich die Beschreibung b_0) erscheint, und daß diese Beschreibung bei gegebenem Zustand des Systems ausschließlich von der an den Eingangsklemmen anliegenden Eingangsgröße (d.h. dem Reiz r_0) abhängt.

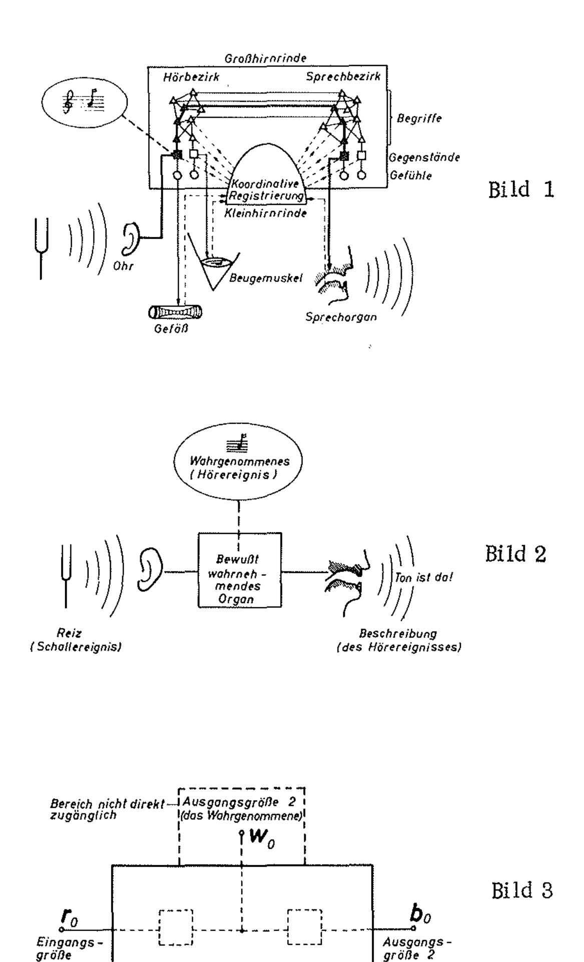


Bild 1

Bild 2

Bild 3

Um die Ergebnisse der Introspektion berücksichtigen zu können, ist ein zweiter Ausgang vorgesehen, an dem das Wahrgenommene w_0 des Systems erscheint. Dieser Ausgang ist bei der Fremdbeobachtung des Systems nicht direkt, sondern nur über die Beschreibung zugänglich. Die gestrichelt angedeutete Kettenschaltung zweier Systemelemente im Inneren des schwarzen Kastens soll andeuten, daß die Ausgangsgrößen w_0 und b_0 nicht identisch sind.

Wir interessieren uns letztlich für die Frage: Welches Wahrgenommene und welche Beschreibung erscheinen an den Ausgängen, wenn ein definierter Reiz an

den Eingang des Systems gelegt wird? Für eine möglichst allgemeine Entwicklung des Problems eignet sich die Terminologie der Mengenlehre.

Wir können im Zusammenhang mit dem von uns behandelten bewußt wahrnehmenden System folgende Mengen unterscheiden:

1. Die Menge R_0 der Reize mit den Elementen r_0
2. Die Menge W_0 des Wahrgenommenen mit den Elementen w_0
3. Die Menge B_0 der Beschreibungen mit den Elementen b_0

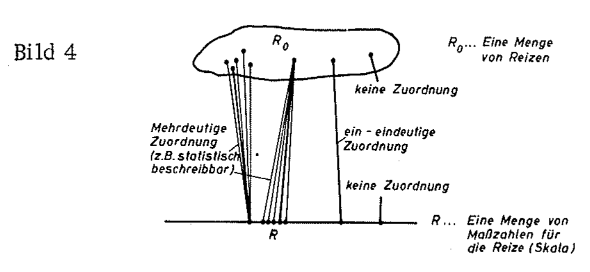
Im Falle einer akustischen Wahrnehmung werden die Reize R_0 auch die Schallereignisse, das Wahrgenommene W_0 die Hörereignisse und die Beschreibungen B_0 die Beschreibungen der Hörereignisse genannt.

Unsere Betrachtung der Beziehungen zwischen den einzelnen angeführten Mengen wird sich auf die folgenden Überlegungen zum Thema "Messen" stützen.

3. Messen und Skalieren

Die Mathematik gestattet es, Mengen, deren Elemente, sowie die Beziehungen zwischen verschiedenen Mengen und Elementen mit höchstmöglicher Präzision zu beschreiben. Den betrachteten Mengen, bzw. den Elementen dieser Mengen müssen dazu mathematische Symbole in der Weise zugeordnet werden, daß diese Symbole neben ihrer mathematischen Bedeutung zusätzlich als Symbole derjenigen Merkmale unserer Mengen und Elemente dienen können, die wir beschreiben wollen. Diese Zuordnung ist möglich, wenn die Merkmale der mathematischen Symbole denen der Mengen und Elemente entsprechen. Falls eine quantitative Beschreibung angestrebt wird, sind als mathematische Symbole Zahlen zu verwenden. Nach Campbell (zitiert nach Guilford, 1954) kann man definieren: **Messung ist die Zuordnung von Zahlen zu Objekten nach festgelegten Regeln.** (Bild 4)

Bild 4



Als Beispiel betrachten wir eine Menge von Reizen am Eingang eines wahrnehmenden Systems. Diese Menge sei Grundmenge R_0 genannt. Um die Grundmenge quantitativ beschreiben zu können, soll sie ausgemessen werden. Hierzu wird jedem Reiz eine Zahl aus einer Zahlenmenge R zugeordnet, die bezüglich des Merkmals "Quantität" die gleichen Eigenschaften hat wie der Reiz selber. R nennen wir eine S k a l a . Die Zuordnungsvorschrift zu den Elementen der Grundmenge nennen wir S k a l i e r f u n k t i o n.
In der Praxis geschieht die Zuordnung von Zahlen zu den Elementen der Grundmenge durch das sogenannte Meßverfahren. Die Art des Meßverfahrens und die begrenzte Meßgenauigkeit führen dazu, daß nicht immer eine eindeutige Zuordnung erreicht werden kann. Das Meßergebnis kann eine statistische Größe sein, die z. B. aus mehreren Einzelmessungen gemittelt oder in ähnlicher Weise gewonnen wurde. Manche Elemente der Grundmenge können vielleicht gar nicht vermessen werden oder umgekehrt paßt zu manchen Zahlen evtl. keines der Grundmengenelemente.

Bei der Bestimmung einer Zahlenmenge, die als Skala für die zu messende Grundmenge geeignet ist, sind drei Eigenschaften der Zahlen relevant:
Identität (jede Zahl ist nur mit sich selbst identisch), Rangordnung (die Zahlen erfüllen eine Anordnungsrelation) und Additivität (es ist eine Additionsvorschrift definiert).

Wir hatten oben festgestellt, daß eine Zahlenmenge dann als Skala für eine Grundmenge geeignet ist, wenn die Eigenschaften der betrachteten Merkmale der Grundmengenelemente mit denen der Zahlen übereinstimmen. Die Merkmale der Grundmengenelemente haben nun nicht immer alle drei genannten Eigenschaften der Zahlen. Die Zahlen können jedoch schon dann als Maß verwendet werden, wenn bei den Merkmalen der Grundmengenelemente allein das Gesetz der Identität erfüllt ist. Die Maßzahl hat in diesem Fall verminderte Aussagekraft. Je nach dem, welche Zahleneigenschaften man ausnutzt, können vier Grundarten von Skalen unterschieden werden (Guilford, 1954; Siegel, 1956):

Eine Skala, die nur auf der Identitätseigenschaft der Zahlen fußt, nennt man N o m i n a l s k a l a (Bild 5). Das Bild zeigt eine Versuchsperson, die wahlweise von vorne oder hinten beschallt wird und ihre Eindrücke durch drei Beschreibungen mitteilen kann. Das Beispiel macht deutlich, warum man in diesem Falle von einer Nominalskala spricht. Die Zahl wird nur benutzt, um gewissermaßen als Namensschild auf eine Gruppe von Grundmengenelementen aufgeklebt zu werden. Weitere Bedeutung kommt ihr nicht zu.

Die nächste höherstehende Form einer Skala ist die sogenannte O r d i n a l s k a l a

(Bild 6). Die betrachteten Merkmale müssen hier schon die Eigenschaften Identität und Rangordnung besitzen. In dem gezeigten Beispiel werden vier elektrische Signale auf ihre Eignung zu einem psychophysiologischen Experiment untersucht und in der Rangfolge ihrer Eignung eingestuft. Die Ordinalskala besteht aus Ordnungszahlen, die in Punktzahlen umgerechnet werden können. Es wird nicht ausgesagt, daß die Ränge äquidistant sind, das heißt, daß etwa der Exponentialton gerade doppelt weniger geeignet wäre als der Trapezton (beide mit dem Gausston verglichen.) Der Exponentialton steht lediglich an dritter Stelle.

Die Intervallskala (Bild 7) verlangt als Merkmalseigenschaften Identität,

Beispiel: Anordnung zur Messung des Vorn-Hinten-Eindruck beim räumlichen Hören

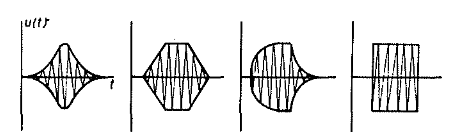
Bild 5

Vorkommende Beschreibungen:	*Hörereignis vorn*	*Hörereignis hinten*	*Hörereignis nicht scharf lokalisiert*
Gruppe:	*1*	*2*	*3*

Verwendete Zahleneigenschaft: Identität

Beispiel: Eignung verschiedener Signale zur Erzeugung kurzer Hörereignisse mit Toncharakter

Bild 6



Signalart	*Gaußton*	*Trapezton*	*Exponentialton*	*Rechteckton*
Rang	*1.*	*2.*	*3.*	*4.*
Rangzahl	*4*	*3*	*2*	*1*

Verwendete Zahleneigenschaften: Identität, Rangordnung

Beispiel: Temperaturskala von Celsius

Bild 7

100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 °C

Man beachte: Der Temperaturanstieg von 0° auf 20° ist ebenso groß wie der von 20° auf 40°. Es ist jedoch nicht 40° eine doppelt so hohe Temperatur wie 20°.

Verwendete Zahleneigenschaften: Identität, Rangordnung, Additivität nur bezüglich der Intervalle

Rangordnung und bezüglich der Intervalle zwischen den Merkmalen Additivität. Was nicht verlangt wird, ist, daß das Merkmal des Elementes, das der Zahl Null zugeordnet wird, verschwindet. Mit anderen Worten: es wird kein absoluter Nullpunkt festgelegt.

Bei der vierten und höchstentwickelten Skalenart, der Verhältnisskala, treffen alle oben hervorgehobenen Eigenschaften der Zahlen auch auf die Merkmale der Grundmengenelemente zu. Z. B. wird die Lautheit mit der Zahl Null bezeichnet, wenn sie verschwindet. Diejenige Lautheit, die die Maßzahl Zwei erhält, ist doppelt so laut wie die, die die Maßzahl Eins erhält und so weiter.

Als Skalen können nicht nur Punktmengen auf Zahlengeraden sondern auch solche auf Zahlenflächen und in Zahlenräumen mit mehreren Dimensionen verwendet werden, wenn die betrachtete Grundmenge dies verlangt. Die mehrdimensionale Skalierung des Wahrgenommenen erlangt in der Psychologie steigende Bedeutung.

4. Psychophysiologische Größenpaare und Funktionen

Bei der Betrachtung des bewußt wahrnehmenden Systems in unserem Beispiel waren drei Grundmengen isoliert worden. Es interessieren uns im folgenden die Beziehungen dieser Mengen untereinander, bzw. die Frage: Was nimmt ein System wahr und wie beschreibt es sein Wahrgenommenes, wenn es mit einem definierten Reiz erregt wird?

Links in Bild 8 sind die Grundmengen R_0, W_0 und B_0, rechts die zugehörigen Skalen, also die Reizskala R, die Wahrnehmungsskala W und die Beschreibungsskala B eingetragen. Die Zuordnungsvorschrift zwischen einer Grundmenge und der zugehörigen Skala ist eine Mengenfunktion und wird als Skalierfunktion bezeichnet.

Die Grundmengen stehen nicht nur mit den Skalen, sondern auch untereinander in Beziehungen. Diese Beziehungen finden ihre Entsprechungen in Mengenfunk-

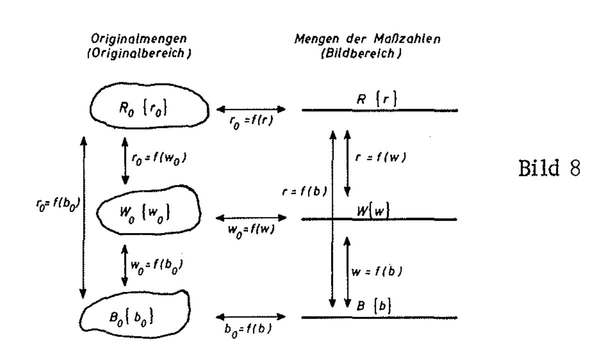


Bild 8

tionen zwischen den Skalen. Die Funktionen zwischen den Skalen werden psychophysiologische Funktionen genannt. Eine psychophysiologische Funktion kann z. B. zwischen den Frequenzen eines Schallwechseldruckes in Hz, die auf der Reizskala R aufgetragen werden, und den Tonhöhen in mel, die auf der Wahrnehmungsskala W stehen, definiert werden. Wir sprechen dann von Tonhöhe und Frequenz als einem psychophysiologischen Größenpaar.

Die Aufstellung einer psychophysiologischen Funktion ist vom Standpunkt des Naturwissenschaftlers aus nur dann sinnvoll, wenn sich zwischen der mathematischen Beschreibung und der beobachteten Wirklichkeit eine genügende und nicht nur im speziellen Fall bestehende Übereinstimmung nachweisen läßt.

Beziehen wir uns auf den Menschen als Wahrnehmungssystem, so wird auch gesagt, die psychophysiologische Funktion solle möglichst objektiv sein. Unter Objektivität wird dann das Ausmaß der Übereinstimmung zwischen dem Wahrgenommenen bzw. den Beschreibungen mehrerer Personen bezeichnet. Leider stellen wir bei Messungen an bewußt wahrnehmenden Systemen grundsätzlich fest, daß bei definiertem Reiz und definierten Umweltsbedingungen das Wahrgenommene und dessen Beschreibung sowohl streut, wenn man ein System mehrmals ausmißt, als auch dann, wenn man mehrere Systeme jeweils einmal mißt. Die Ergebnisse solcher Messungen werden im ersten Falle durch eine Individualmatrix, im zweiten durch eine Gruppenmatrix dargestellt. Mißt man mehrere Versuchspersonen bei mehreren Gelegenheiten aus, so ergibt sich eine Tabelle, die als dreidimensionales Gebilde darzustellen ist.

Bei biologischen Systemen, und das sind alle bisher bekannten bewußt wahrnehmenden Systeme, kann man in der Regel voraussetzen und mit statistischen Hilfsmitteln bestätigen, daß die Häufigkeitsdichte der Meßergebnisse über der zugehörigen Skala eine Normalverteilung (Gaussfunktion) ist.
Psychophysiologische Funktionen sind demnach in der Regel nicht für einzelne Meßwerte sondern für statistisch gewonnene Maßzahlen definiert (Bild 9). Dies ist zu beachten, wenn man für einen Einzelfall ein Wahrgenommenes mit Hilfe einer psychophysiologischen Funktion vorausberechnen möchte. (Leider findet man in der Literatur zu den dort angegebenen psychophysiologischen Funktionen nicht immer die notwendigen statistischen Angaben z. B. über die Vertrauensgrenzen!)

Die Bilder 10 und 11 stellen Beispiele für praktische psychophysiologische Funktionen dar. Historisch wichtig und heute noch von grundsätzlicher Bedeutung ist das Gesetz von Fechner, wonach das Wahrgenommene (Helligkeit, Tonhöhe, Druckempfindung etc.) eine logarithmische Funktion des Reizes (Licht-

stärke, Frequenz, Auflagekraft) ist (Bild 10). Faßt man C nicht als Konstante sondern als Funktion C(r) auf, dann werden Anwendungen auf Größenpaare möglich, auf die das Gesetz in seiner ursprünglichen Form nicht zutrifft.

Eine andere Art psychophysiologischer Funktionen läßt sich als Potenzfunktion schreiben (Bild 11). Ein Beispiel hierfür ist das psychophysiologische Größenpaar

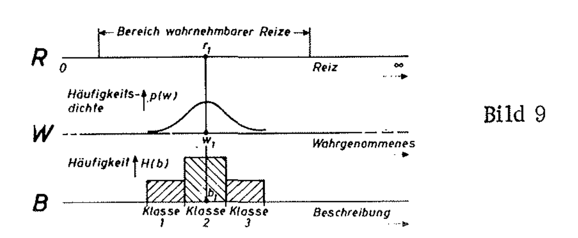


Bild 9

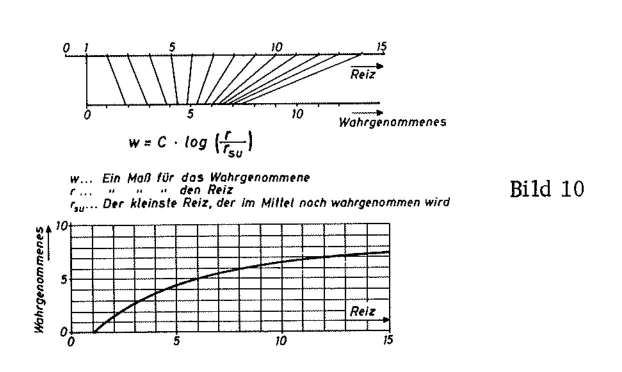


Bild 10

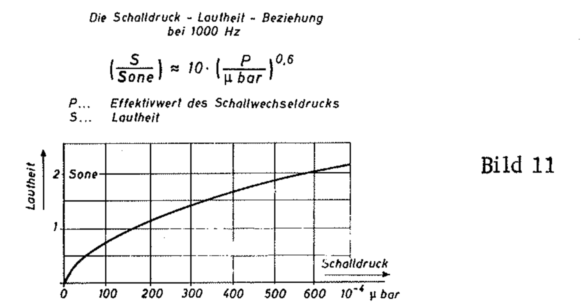


Bild 11

Schalldruck-Lautheit, das im Bereich oberhalb von etwa einem Tausendstel Mikrobar durch die angegebene Funktion beschrieben werden kann. Der Exponent des Ausdrucks, in dem der Schalldruck steht, ist kleiner als Eins. Im Bereich größerer Schalldrücke verläuft die Kurve ähnlich wie eine logarithmische Funktion.

Neben speziellen psychophysiologischen Funktionen vieler Art gibt es Versuche, verallgemeinerte Beziehungen zwischen Reizen und Wahrgenommenem schlechthin anzugeben. Ein Beispiel für eine Gleichung dieser Art ist die Verhaltensgleichung von Graham. Sie lautet in der Schreibweise der Systemtheorie:

$$w(t) = f\left[r_a(t), r_b(t), \ldots, r_n(t); z_a(t), z_b(t), \ldots, z_n(t)\right]$$

Betrachtete Ausgangsgröße:

$w(t)$ ... ein meßbares Merkmal des Wahrgenommenen z. B. Lautheit

Anliegende Eingangsgröße:

$r_a(t)$, $r_b(t)$, ..., $r_n(t)$ ... meßbare Merkmale des Reizes z. B. Frequenz, Schalldruck, Diffusität

Kenngrößen des Systems:

$z_a(t)$, $z_b(t)$, ..., $z_n(t)$ ... meßbare Merkmale von Zustandsgrößen z. B. Erfahrung, Motive, Ermüdung

Das betrachtete Merkmal des Wahrgenommenen wird als Funktion mehrerer Merkmale des Reizes und als Funktion von Zustandsgrößen des bewußt wahrnehmenden Systems angegeben. Die Zustandsgrößen können vielgestaltig sein, z. B. der Lernzustand nach mehrfacher vorhergehender Beaufschlagung mit den Testreizen, Motive, Vorurteile, Ermüdungszustände usw. fallen ebenfalls in diese Kategorie.

Diese verallgemeinerte Betrachtungsweise geht in zweierlei Beziehung über unsere bisher gemachten Einschränkungen hinaus. Einerseits wird das System nicht mehr als mit nur einem Eingang ausgestattet gedacht, zum anderen ist dieses

System auch nicht mehr invariant. Es ändert sich in der Zeit und unter dem Einfluß der Reize. Unsere grundsätzlichen Überlegungen müssen erweitert werden. Die mathematische Systemtheorie der Nachrichtentechnik liefert Mittel (z. B. state space approach), die benutzt werden können, um die Beschreibung eines verallgemeinerten, bewußt wahrnehmenden Systems durchzuführen.

Schrifttumsverzeichnis

Bense, Max — Bewußtseinstheorie
Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Band 2, 1961, S. 65

Clauss, J.H. — Zur Problematik der Farbtestgrundlagen II
Psychophysiologie (Beihefte zur Rehabilitation)
Band 2, 1965/66, S. 95

Frank, Helmar — Zum Problem des vorbewußten Gedächtnisses
Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Band 2, 1961, S. 16

Guilford, J.P. — Psychometric Methods 2. Aufl.
McGraw Hill New York 1954

Lungwitz, Hans — Lehrbuch der Psychobiologie Band 1
Walter de Gruyter, Berlin 1933

Lungwitz, Hans — Die Entdeckung der Seele
Allgemeine Psychobiologie, 1. Aufl., 1923
Brücke Verlag Kurt Schmersow, Kirchhain N.-L.

Siegel, Sidney — Nonparametric Statistics: For the behavioral sciences. McGraw Hill, New York, 1956

Steinbuch, Karl — Automat und Mensch
1. Aufl., Springer, Berlin, 1961

Steinbuch, Karl — Bewußtsein und Kybernetik
Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Band 3, 1962, S. 1

Eingegangen am 27. Februar 1967

Anschrift des Autors:
Dipl.-Ing. Jens Blauert, Institut für elektrische Nachrichtentechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

REAFFERENZPRINZIP UND BEWUSSTSEIN

von Hans-Werner Klement, Bad Homburg

Eine wesentliche Komponente des Bewußtseins ist die Unterscheidung zwischen "Ich" und Außenwelt. In dem vorliegenden Aufsatz wird untersucht, wie es zu dieser Unterscheidung kommt, und ob es möglich ist, einen Automaten zu bauen, der zwischen sich selbst und der Außenwelt unterscheiden kann. Steinbuch (1965) schreibt hierzu:

> "... Würden wir jedoch einen genügend großen Automaten bauen und ihn so organisieren, daß er beständig seine Peripherie durch Millionen von Rezeptoren überwacht und verteidigt, dann könnte dieser Automat zwischen sich und der Außenwelt unterscheiden. Man könnte im Verhalten eines Automaten, der eine von außen bewirkte Veränderung seiner Peripherie zu verhindern oder zu kompensieren sucht, ein Unterscheidungsvermögen zwischen "Ich" und "Außenwelt" sehen."

Im folgenden soll gezeigt werden, daß aus der Physiologie der Wahrnehmungen bekannte Prinzipien bei entsprechender Deutung Hinweise auf das Entstehen der Unterscheidung zwischen "Ich" und "Außenwelt" geben, und daß das Unterscheidungsvermögen eines Automaten zwischen sich selbst und der Außenwelt hierauf aufbauend prinzipiell mittels eines Rezeptors und eines mit ihm kooperierenden Effektors verwirklicht werden kann.

Der menschliche Wahrnehmungsapparat kann ein ruhendes Objekt auch dann als ruhend erkennen, wenn das Auge sich bewegt und daher auf der Netzhaut ein bewegtes Bild des Objektes entsteht. Andererseits erkennt er ein Objekt auch dann als bewegt, wenn das Auge dem Objekt folgt und dessen Bild auf der Netzhaut ruht. Mit der Deutung dieser Phänomene befaßte sich bereits H. von Helmholtz (1866). Er war der Auffassung, daß die von der Netzhaut im Zentralnervensystem eintreffenden Bewegungsmeldungen gemeinsam mit Impulsen von den Gehirnzentren, welche die Augenbewegung veranlassen, verarbeitet werden. Diese Theorie ist als Efferenztheorie bekannt. In jüngerer Zeit haben sich E. von Holst (1950, 1957) und H. Mittelstaedt (1950) mit dem sogenannten Reafferenzprinzip bei verschiedenen neuromotorischen Systemen auseinandergesetzt. Sie erklären die beschriebenen Phänomene ähnlich damit, daß in den Wahrnehmungsapparat sowohl die Signale von der Netzhaut als auch "Efferenzkopien" der Impulse, welche die Bewegung des Auges steuern, eingehen.

Dabei wird angenommen, daß die durch Bewegung des Auges hervorgerufene Afferenz (Reafferenz) durch die Efferenzkopie kompensiert wird, so daß nur die durch Bewegung der Umwelt hervorgerufene Afferenz (Exafferenz) als Bewegungsmeldung höhere Zentren erreicht. Es geht hierbei primär um die Frage, wie es dem Wahrnehmungsapparat gelingt, ein "richtiges" bzw. "objektives" Bild der Umwelt zu gewinnen. Von Holst und Mittelstaedt erwähnen aber auch, daß es sich bei diesem Prozeß um eine Unterscheidung des Lebewesens zwischen "eigener Bewegung" und "Bewegung der Umwelt" handle. Daran ist zunächst richtig, daß ein Lebewesen aufgrund des beschriebenen Prozesses Bewegungen der Umwelt als solche erkennen und darauf reagieren kann, während eigene Bewegungen keine Bewegungsmeldungen bewirken und somit auch keine Reaktion auslösen. Eine wirkliche Unterscheidung zwischen eigener Bewegung und Bewegung der Umwelt liegt insoweit nicht vor, denn eigene Bewegungen werden ja überhaupt nicht gemeldet. Dennoch ist es richtig, von einer solchen Unterscheidung zu sprechen, denn der beschriebene Prozeß betrifft eben nur den Wahrnehmungsapparat für das Sehen von Bewegungen der Umwelt, und es darf nicht ausgeschlossen werden, daß daneben - zumindest bei höher organisierten Lebewesen - die eigene Bewegung z. B. durch eine weitere Efferenzkopie an das Wahrnehmungszentrum gemeldet wird.

Efferenztheorie und Reafferenzprinzip beinhalten das gleiche Grundprinzip der gemeinsamen Verarbeitung ausgehender Impulse und eingehender Reize. Nach dem oben Gesagten ist wahrscheinlich, daß dieses Prinzip über seine Bedeutung für das "objektive" Erkennen der Umwelt hinaus zur Erklärung der Unterscheidung zwischen "Ich" und "Außenwelt" herangezogen werden muß. Das Prinzip der gemeinsamen Verarbeitung ausgehender Impulse und eingehender Reize und die hierdurch mögliche Unterscheidung zwischen "Ich" und "Außenwelt" wären dann als Wurzeln des Bewußtseins in den Nervensystemen von Lebewesen zu betrachten. Von Holst und Mittelstaedt haben geschrieben:

> "... daß jene komplizierten höheren Funktionsgestalten, vor denen der Reflexphysiologe ratlos steht, mit ihren Wurzeln bis in die einfachsten Grundfunktionen des ZNS reichen."

Es ist zu vermuten, daß diese Feststellung auch für die Funktionsgestalten des Bewußtseins Bestätigung finden wird.

Wie ein Automat auf der Grundlage des Prinzips der gemeinsamen Verarbeitung ausgehender Impulse und eingehender Reize die Unterscheidung zwischen sich selbst und der Außenwelt treffen kann, sei zunächst an einem System erläutert, das binäre akustische Impulse x_1 abgeben und gleichartige binäre Reize x_2 aufnehmen kann. Bei entsprechenden Verknüpfungen kennt dieses System die drei folgenden Zustände:

	x_1	x_2
$R = x_1 \downarrow x_2$	0	0
$A = \overline{x}_1 \cdot x_2$	0	1
$S = x_1$	1	0
	1	1

Der Zustand R bedeutet "kein Signal", der Zustand A bedeutet "Reiz aus der Außenwelt" und der Zustand S bedeutet "eigener Impuls". Das System kann also zwischen von ihm selbst ausgehenden Signalen und Signalen aus der Außenwelt unterscheiden.

Der Verfasser hat ein ähnliches System durch geeignete Verknüpfung eines Blinkgebers und einer Lichtschranke verwirklicht. Hierbei schaltet das Relais der Lichtschranke (x_2) einen Summer ein, wenn ein Lichtreiz auf die Fotozelle wirkt. Dabei ist es zunächst gleichgültig, ob der Lichtreiz vom Blinkgeber oder von einer fremden Lichtquelle stammt. Im Stromkreis des Summers befindet sich jedoch ein weiteres Relais (x_1), das vom Blinkgeber gesteuert wird. Wenn die Fotozelle durch den Blinkgeber gereizt wird, erhält dieses Relais die "Efferenzkopie" und unterbricht kurz den Summerstrom. Das System reagiert somit auf fremde Blinksignale mit je einem akustischen Signal, auf eigene Blinksignale jedoch mit je zwei akustischen Signalen. Diese Unterscheidung wird auch dann getroffen, wenn das Licht die Fotozelle über einen Spiegel erreicht; das System "erkennt sich" im Spiegel. - Ein auf den ersten Blick ähnliches System wird in der Literatur unter dem Namen "machina speculatrix" beschrieben. Hierbei wird jedoch keine "Efferenzkopie" des ausgehenden Impulses verwendet, so daß ein prinzipieller Unterschied zu den in diesem Aufsatz beschriebenen Systemen vorliegt (William Grey Walter, 1963).

Die bis jetzt beschriebenen Systeme können nicht erkennen, ob neben einem eigenen Impuls ein Reiz aus der Außenwelt vorhanden ist. Treffen eigener Impuls und Reiz aus der Außenwelt zusammen, registrieren sie lediglich den eigenen Impuls. Ein System, bei dem ausgehende Impulse und eingehende Reize miteinander verglichen werden, würde aber auch in diesem Falle die richtige Feststellung treffen. Bei geeigneten Verknüpfungen würde es folgende Zustände kennen, wobei wieder x_1 den ausgehenden Impuls und x_2 den eingehenden Reiz bedeuten:

R	kein Signal	$x_1 = x_2$ $x_1 = 0$ $x_2 = 0$		
A	Reiz aus der Außenwelt	$x_1 \neq x_2$ $x_1 = 0$ $x_2 \neq 0$		
S	eigenes Signal	$x_1 = x_2$ $x_1 \neq 0$ $x_2 \neq 0$	oder	$x_1 \neq x_2$ $x_1 \neq 0$ $x_2 = 0$
AS	Reiz aus der Außenwelt und eigenes Signal	$x_1 \neq x_2$ $x_1 \neq 0$ $x_2 \neq 0$		

Die Verwirklichung solcher Systeme hängt ausschließlich davon ab, inwieweit der Vergleich ausgehender Impulse mit eingehenden Reizen - insbesondere im Falle nichtbinärer Signale - technisch durchführbar ist. Die grundsätzliche Brauchbarkeit des Vergleichs zwischen ausgehenden Impulsen und eingehenden Reizen für die Unterscheidung eines Automaten zwischen sich selbst und der Außenwelt wird von dieser Problematik nicht berührt.

Um eine solche Unterscheidung zu erzeugen, können bei jeweils entsprechenden Verknüpfungen z. B. folgende Kombinationen von ausgehenden Impulsen und eingehenden Reizen verwendet werden:

1. Die Bewegungsimpulse eines optischen Rezeptors und die von diesem aufgenommenen Bewegungsmeldungen wie beim Bewegungssehen.

2. Die Bewegungsimpulse eigener beweglicher Teile und die von einem optischen Rezeptor aufgenommenen Bewegungsmeldungen zwecks Unterscheidung des Automaten zwischen eigenen Bestandteilen und Objekten der Außenwelt.

3. Ausgehende akustische Impulse und eingehende akustische Reize wie in dem oben beschriebenen Beispiel.

4. Die Bewegungsimpulse taktiler Rezeptoren und aufgenommene taktile Reize.

Als Beispiel hierfür sei ein System genannt, dessen Oberfläche als taktiler Rezeptor ausgebildet ist, und das außerdem über einen weiteren, beweglich angeordneten taktilen Rezeptor verfügt. Bei geeigneten Verknüpfungen wird ein solches System stets "Außenwelt" registrieren, wenn nur einer der beiden Rezeptoren gereizt wird. Werden aber beide Rezeptoren gereizt, müssen die Bewegungsimpulse des beweglichen Rezeptors zur Unterscheidung des Automaten zwischen sich selbst und der Außenwelt mit herangezogen werden. Entsprechen diese Impulse einem Treffen der beiden Rezeptoren, registriert der Automat, daß er sich selbst berührt hat. Entsprechen sie dem Treffen nicht, registriert er "Außenwelt".

Ein Automat kann demnach prinzipiell so gestaltet werden, daß er ein "objektives" Bild von seiner Umwelt gewinnt und zwischen sich selbst und der Außenwelt unterscheidet. Diese Fähigkeiten können auf verschiedene Weisen zur Steuerung des Verhaltens des Automaten benutzt werden:

1. Eine bestimmte Reaktion tritt nur dann ein, wenn ein Reiz aus der Außenwelt vorliegt, nicht aber, wenn der gleiche Reiz durch eigene Impulse hervorgerufen wird. Dieses Verhalten des Systems könnte man z. B. mit einem Schutzreflex bei einem Lebewesen vergleichen, der nur durch Reize aus der Außenwelt ausgelöst wird, nicht aber durch gleiche eigene Signale.

2. Die oben mit R, A, S und AS bezeichneten Zustände gehen neben anderen Daten als Information in komplexere Prozesse der Informationsverarbeitung innerhalb des Systems ein und beeinflussen dessen Verhalten in entsprechend komplizierterer Weise. Das Verhalten eines solchen Systems könnte dem eines Lebewesens entsprechen, das aufgrund einer unveränderlichen Schaltung seines Nervensystems "instinktiv" zwischen "Ich" und "Außenwelt" unterscheidet.

3. Unter Verwendung von Lernmatrizen "lernt" das System die Zuordnung der vorkommenden Kombinationen von ausgehenden Impulsen und eingehenden Reizen zu den Zuständen R, A, S und AS. Es lernt dabei insbesondere, daß bei unterschiedlichen Kombinationen von ausgehenden Impulsen und eingehenden Reizen (Ereignissen) die voneinander zu unterscheidenden Zustände R, A, S und AS (Bedeutungen) auftreten. Das System kann die gelernte Zuordnung auch dann zur Informationsverarbeitung heranziehen, wenn keine akuten Impulse und Reize vorliegen.

4. Schließlich kann man ein System so auslegen, daß den Zuständen R, A, S und AS in einer Lernmatrix Bedeutungen in einer begrifflichen Sprache zugeordnet werden. Ein solches System kann z. B. lernen, den Zustand S als "Ich" und den Zustand A als "Außenwelt" zu bezeichnen.

SCHRIFTTUMSVERZEICHNIS

Steinbuch, Karl	Automat und Mensch, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1965, S. 351.
von Helmholtz, H.	Handbuch der Physiologischen Optik, Hamburg/Leipzig 1866, abgehandelt in: R. L. Gregory: Auge und Gehirn, Kindler-Verlag, München, 1966, S. 96 f.
von Holst, E. Mittelstaedt, H.	Das Reafferenzprinzip, Naturwissenschaften Bd. 37, 1950, S. 464.
von Holst, E.	Aktive Leistungen der menschlichen Gesichtswahrnehmung, Studium Generale 10, 1957, H. 4, S. 231.
Walter, William G.	Das lebende Gehirn, Droemersche Verlagsanstalt Th. Knaur Nachf., München/Zürich, 1963, S. 163 u. 226.

Eingegangen am 23. Dezember 1966

Anschrift des Verfassers:

Dr. Hans-Werner Klement
638 Bad Homburg
Theodor-Storm-Str. 27

IDEOGRAFIE - FUNKTION DES SICHTBAREN AUSDRUCKS

von Peter Kümmel, Tokio

Man unterscheidet gewöhnlich Schriftzeichen ideografischer Verwendung von lautsymbolisierenden Alphabetzeichen. Es wird auch gesagt, begriffstragende Schriftzeichen haben andere Funktion als jene, die nur Laute anzeigen. Meistens führen begriffstragende Zeichen beide Funktionen aus, sie sind laut- und begriffstragend. Ferner gibt es sogenannte Piktogramme, die in mehr oder weniger verknappter Form ebenfalls begriffstragende (ideografische) Funktion aufweisen. Bisher gelten die chinesischen Schriftzeichen als bedeutsame Beispiele ideografischer Anwendung, obwohl uns weitere ideografisch benutzte Zeichen des Altertums bekannt sind. Die Verwendung der chinesischen Schriftzeichen oder HAN-Zeichen (erste Zusammenstellungen des Zeichenschatzes erfolgten während der HAN-Dynastie, vor etwa 2000 Jahren), ist durch die Einführung des Schulzwangs in Volkschina ständig im Wachsen begriffen.

Sinologen sind in ihren Äußerungen über den ideografischen Funktionswert der HAN-Zeichen zurückhaltend, da offenbar nicht alle Schriftzeichen ideografische Verwendung finden. Diese Frage war bisher kaum zu beantworten, da man sich über die fundamentale Funktion des sichtbaren Ausdrucks keine Klarheit verschaffen konnte. Eine Darlegung der Funktions-Zusammenhänge kann erst nach der Struktur-Interpretation des Ausdrucks erfolgen. Diese hat neuerdings ergeben, daß der ideografische vom fonografischen Bereich nicht immer klar zu trennen ist. Bislang konnte man daher nirgends eine Erklärung der Bedeutung des Ausdrucks "Ideografie" nachlesen.

Für rationale Verständigung zwischen Individuen ist die etwas theoretisch anmutende Frage nach der Bedeutung von Ideografie nicht nur für Asiaten, sondern auch für Europäer aktuell geworden. Ausarbeitungen zur Ausdrucks-Analyse zeigen, daß durch einen Vergleich der Struktur des sichtbaren Ausdrucks der permanenten Ebene "grafisch" mit dem der akuten "gebärdlich", fundamentale Parallelen festgestellt werden konnten. Sie lassen eine Einteilung allen, durch die Sinneswahrnehmung perzipierbaren Ausdrucks in kleinste Einheiten zu, die wiederum Einblick in die Funktion des willkürlichen Ausdrucks gewährt. Bei den Einheiten handelt es sich um BIAUs für den Ausdruck und YIs für die zu tragenden Bedeutungen (Kümmel, 1966).

Definition eines BIAU:
Ein BIAU ist die kleinste, nicht mehr teilbare, durch Sinne wahrnehmbare Einheit des willkürlichen Ausdrucks. Eine BIAU-Folge, aber auch ein BIAU kann Träger einer Sinnesdaten-Einheit werden.

Definition eines YI:

Ein YI ist die kleinste, nicht mehr teilbare, durch BIAUs ausdrückbare Sinnesdaten-Einheit in Verwendung für den willkürlichen Ausdruck.

Definition der BIAU-Rate:

Die BIAU-Rate pro YI ist das Verhältnis, in dem BIAUs für den Ausdruck von YIs Verwendung finden. Dienen n BIAUs zum Ausdruck eines YIs, ist die BIAU-Rate n/1. Wird ein BIAU an n verschiedenen Stellen zum Ausdruck unterschiedlicher YIs verwandt, beträgt die BIAU-Rate 1/n.

Vorstehende Bauelemente, als Zwischenergebnis einer Struktur-Analyse des willkürlichen Ausdrucks im allgemeinen, lassen durch Vergleiche mit anderen Kanälen der Sinneswahrnehmung genauere Rückschlüsse auf den sichtbaren Ausdruck selbst zu. Es wird nun einfacher, die Frage nach der Beschaffenheit von Ideografie zu klären, deren Beantwortung bisher vernachlässigt wurde. Die meisten ideografisch benutzten Zeichen besitzen im täglichen Gebrauch über ihre begriffstragende Funktion hinaus auch eine lauttragende. Finden sie an einigen Stellen nur dieser lauttragenden Funktion wegen Verwendung, kann man nicht mehr von Ideografie sprechen. Wird ein Zeichen jedoch ungeachtet seiner Aussprache ausschließlich für einen bestimmten Begriff verwendet, wie etwa eine arabische Ziffer, so wird seine Funktion ideografisch. Nicht die Struktur eines Zeichens, sondern seine Funktion kann ideografisch oder fonografisch sein. Die Benutzung der sinnwidrigen Worte IDEO-, LOGO- oder FONOGRAMM zeugt daher nur von Unverständnis der Materie. Das Adjektiv "ideografisch" ist nicht struktur-, sondern nur funktionsbezogen. Dieser ideografische Funktionswert erstreckt sich sowohl auf Schrifteinheiten stark inhaltsbezogener Strukturen: ф ⟶ 中 = Mitte, ⟶ 雨 = Regen, 森 = Wald, ∞ = unendlich, — ⟶ 1 = eins, 三 ⟶ ⟶ 3 = drei usf., wie auf jene, deren Inhaltsbezug verkümmert, oder gar nicht zu erkennen ist. Sogar substituierende Einheiten von Zeichen mit geringem oder keinem Inhaltsbezug finden ideografische Verwendung. ! = Ausrufungszeichen, % = Prozentzeichen und das BIAU § für den Begriff Paragraf.

Folgende Ausdrucks-Einheiten verdeutlichen, wie ein bestimmter Begriff (1 YI) durch unterschiedliche nationale Gebräuche im Ausdruck a) grafisch sichtbar gemacht wird, b) wie hoch seine BIAU-Rate ist und c), ob dieses "Sichtbarmachen" ideo- oder fonografisch erfolgt. Das YI "Baum" soll als Beispiel dienen:

BIAUS (Ausdrucks-Einheiten)		Nationalität der BIAUS	BIAU-Rate	grafische Funktion
1)	木	chin.-japanisch	1	ideografisch
2)	キ	japanisch	1/n	fonografisch
3)	mu	chin.-latein.	2	fonografisch
4)	ki	japan.-latein.	2	fonografisch
5)	Baum	deutsch	4	fonografisch
6)	tree	englisch	4	fonografisch
7)	arbre	französisch	5	fonografisch

Die BIAU-Rate darf also bei einer ideografischen Funktion nicht über oder unter 1 liegen. In Zeile 2 ist zwar das Postulat nach einer Ausdrucks-Einheit für eine Sinnesdaten-Einheit erfüllt, aber es handelt sich um ein Silbenalphabet-Zeichen, dessen Verwendung nicht exklusiv erfolgt. Das Zeichen des KANA-Alphabets mit der Lesung "ki" kommt im täglichen Gebrauch tausendfach vor.

Bei einer Reihe von HAN-Zeichen finden wir ebenfalls nur fonografische Funktionen vor, wodurch die BIAU-Raten gewöhnlich unter 1 zu liegen kommen. Es handelt sich meist um Zeichen, deren Aussprache jener des neuen Begriffes ähnelt oder gleich ist. Man benutzt dann dieselbe grafische Einheit einmal für den neuen Begriff, an anderer Stelle jedoch für die ursprüngliche Bedeutung, für die das Zeichen früher eigens geschaffen wurde. Als Beispiel können Länderbezeichnungen der Chinesen wie 独 国 DU GUO für Deutschland gelten. Das Zeichen 独 DU steht für die Bedeutung "einsam/allein/nur". Es kann adjektivisch aber auch "deutsch" heißen. In Japan benutzt man häufig das HAN-Zeichen 米 für ungeschälten Reis wegen seiner Aussprache ME für den neu eingeführten Begriff des Längenmaßes "Meter". In beiden Fällen DU und ME ist die Verwendung der Zeichen nicht mehr ideografisch und die BIAU-Rate beträgt nur 1/2.

Definition des Begriffes Ideografie

Ideografie ist Schreibung willkürlichen Ausdrucks, bei der jede Schrifteinheit voll, verknappt oder nicht inhaltsbezogen zum ausschließlichen Tragen einer Bedeutung (Sinnesdaten-Einheit) benutzt wird. Kürzer und genauer: Ideografie ist Schreibung (grafischer Ausdruck) bei der (dem) die BIAU-Rate 1 beträgt.

Schnellerer Informationsfluß der BIAU-Rate 1

Der Tatbestand, daß nicht nur bei chinesischen und japanischen, sondern auch

allen übrigen Schreibmaschinen einschließlich der arabischen Ziffern nicht weniger als 50 % der Typen für ideografischen Gebrauch vorgesehen sind, läßt erkennen, daß ideografischer Ausdruck keinesfalls unzeitgemäß oder gar unpraktisch ist. Das Beschränken der BIAU-Rate im Bereich hoher YI-Frequenzen gegen 1 ist in der Praxis durch Abkürzungen überall geläufig: PKW für Personen-Kraftwagen usf. Der größere Lernaufwand für BIAUs der Rate 1 ist bei hohen Frequenzen zu rechtfertigen und der Masse von Individuen durchaus zumutbar, da der Vergeßlichkeitsfaktor der Frequenz umgekehrt proportional ist. Schätzungen, die durch exakte Messungen bestätigt sein wollen, ergeben, daß für YI-Frequenzen zwischen 1/300 und 1/500 die Anwendung einer BIAU-Rate 1 empfehlenswert ist. Durch sie lassen sich für die grafisch sichtbare Sinneswahrnehmung optimale Perzeptionswerte erzielen. Solche Vermutung wird durch folgende Erscheinungen bekräftigt: Es läßt sich eine doppelseitige Annäherung an vorstehend genannte YI-Frequenzen feststellen. Die Benutzung der HAN-Zeichen in fernöstlichen Ländern hat den Bereich der BIAU-Rate 1 bis hinab zu den niedrigsten YI-Frequenzen erweitert. Er ist in China mit Werten unter 1/3000 und Japan unter 1/2000 zu umfangreich, so daß insbesondere in China, wo kein Silbenalphabet gebräuchlich ist, durch jüngste Reformbestrebungen mehr und mehr Zeichen für die Fono - Indikation Verwendung finden und entlehnt werden. Es findet zunehmender Schwund der BIAU-Rate 1 zugunsten einer Rate statt, deren Wert wegen doppelter Benutzung des infrage kommenden Zeichens 1/2, oder bei mehrfacher Benutzung bis zu 1/5 und noch geringere Bruchteile annimmt. In den übrigen Ländern, in denen lauttragende Alphabetzeichen verwendet werden, liegt die BIAU-Rate zumeist zu hoch und nur in seltenen Fällen bei 1. Man ist bestrebt, durch Abkürzung von Worten hoher Frequenzen die Rate gegen 1 schrumpfen zu lassen.

Die lautindizierende Schreibung der chinesischen Bezeichnungen erfolgte nach dem neuen, von der Peking-Regierung anerkannten HAN YU PIN YING FAN AN-System.

Schrifttumsverzeichnis

Kümmel, Peter "Die Sechs-Schreibung" der chinesischen Schriftzeichen als Einführung in den Fragenkomplex des willkürlichen Ausdrucks , GrKG 7/4, 1966

Eingegangen am 8. April 1967

Anschrift des Verfassers:
Dr. Peter Kümmel, Lektor an der Staatlichen Fremdsprachen-Hochschule Tokios, Tokio, Minato Ku, Akasaka 7/5/34/, CPO-Box 1178

Richtlinien für die Manuskriptabfassung.

Es wird zur Beschleunigung der Publikation gebeten, Beiträge an die Schriftleitung in doppelter Ausfertigung einzureichen. Etwaige Tuschzeichnungen oder Photos brauchen nur einfach eingereicht zu werden.

Artikel von mehr als 12 Druckseiten Umfang können in der Regel nicht angenommen werden. Unverlangte Manuskripte können nur zurückgesandt werden, wenn Rückporto beiliegt. Es wird gebeten bei nicht in deutscher Sprache verfaßten Manuskripten eine deutsche Zusammenfassung anzufügen und wenn möglich, zur Vermeidung von Druckfehlern, das Manuskript in Proportionalschrift mit Randausgleich als fertige Photodruckvorlage einzusenden.

Die verwendete Literatur ist, nach Autorennamen alphabetisch (verschiedene Werke desselben Autors chronologisch) geordnet, in einem Schrifttumsverzeichnis am Schluß des Beitrags zusammenzustellen. Die Vornamen der Autoren sind mindestens abgekürzt zu nennen. Bei selbständigen Veröffentlichungen sind Titel, Erscheinungsort und -jahr, womöglich auch Verlag, anzugeben. Zeitschriftenbeiträge werden vermerkt durch Name der Zeitschrift, Band, Seite (z. B. S. 317–324) und Jahr, in dieser Reihenfolge. (Titel der Arbeit kann angeführt werden). Im selben Jahr erschienene Arbeiten desselben Autors werden durch den Zusatz „a", „b" etc. ausgezeichnet. Im Text soll grundsätzlich durch Nennung des Autorennamens und des Erscheinungsjahrs des zitierten Werkes (evtl. mit dem Zusatz „a" etc.), in der Regel aber nicht durch Anführung des ganzen Buchtitels zitiert werden. Wo es sinnvoll ist, sollte bei selbständigen Veröffentlichungen und längeren Zeitschriftenartikeln auch Seitenzahl oder Paragraph genannt werden. Anmerkungen sind zu vermeiden.

Forme des manuscrits.

Pour accélérer la publication les auteurs sont priés, de bien vouloir envoyer les manuscrits en deux exemplaires. Des figures (à l'encre de chine) et des photos, un exemplaire suffit.

En général les manuscrits qui fourniraient plus de 12 pages imprimées ne peuvent être acceptés. Les manuscrits non demandés ne peuvent être rendus que si les frais de retour sont joints. Si les manuscrits ne sont pas écrits en allemand, les auteurs sont priés de bien vouloir ajouter un résumé en allemand et si possible, pour éviter des fautes d'impression, de fournir le manuscript comme original de l'impression phototechnique, c'est-à-dire tapé avec une machine aux caractères standard et avec marges étroites.

La littérature utilisée doit être citée à la fin de l'article par ordre alphabétique; plusieurs oeuvres du même auteur peuvent être enumérées par ordre chronologique. Le prénom de chaque auteur doit être ajouté, au moins en abrégé. Indiquez le titre, le lieu et l'année de publication, et, si possible, l'éditeur des livres, ou, en cas d'articles de revue, le nom de la révue, le tome, les pages (p.ex. p. 317–324) et l'année, suivant cet ordre; le titre des travaux parus dans de revues peut être mentionné. Les travaux d'un auteur parus la même année sont distingués par «a», «b» etc. Dans le texte on cite le nom de l'auteur, suivi de l'année de l'édition (éventuellement complété par «a» etc.), mais non pas, en général, le titre de l'ouvrage; si c'est utile on peut ajouter la page ou le paragraphe. Evitez les remarques en bas de pages.

Form of Manuscript.

To speed up publication please send two copies of your paper. From photographs and figures (in indian ink) only one copy is required.

Papers which would cover more than 12 printed pages can normally not be accepted. Manuscripts which have not been asked for by the editor, are only returned if postage is enclosed.

If manuscripts are not written in German, a German summary is requested. If possible these manuscripts should be written as original for phototechnical printing, i. e. typed with proportional types and with straight-line margin.

Papers cited should appear in the Bibliography at the end of the paper in alphabetical order by author, several papers of the same author in chronological order. Give at least the initials of the authors. For books give also the title, the place and year of publication, and, if possible, the publishers. For papers published in periodicals give at least the title of the periodical in the standard international abbreviation, the volume, the pages (e.g. p. 317–324) and the year of publication. (It is useful to add the title of the publication.) When more than one paper of the same author and the same year of publication is cited, the papers are distinguished by a small letter following the year, such as "a", "b" etc. References should be cited in the text by the author's name and the year of publication (if necessary followed by "a" etc.), but generally not with the full title of the paper. It might be useful to mark also the page or paragraphe referred to.